# دراسة تأثير الحجم الحبيبي للدقائق و درجة حرارة التشكيل على الخواص الميكانيكية للمواد المركبة ذات الأساس من البوليمر

فاتن نعمان عبد الله*
تاريخ التسلم: ٢٠٠٥/٨/٣١
تاريخ القبول: ٢٠٠٦/٧/١٢

**الخلاصة**

تم في هذا البحث دراسة تاثير اضافة مسحوق من الالمنيوم النقي و باحجام حبيبية مختلفة (١٠٦µm, ٢٥٠µm, ١-٢ mm) الى مادة النوفلاك , و الذي انجز بواسطة الكبس على الحار للارضية و المادة المقوية بعد ان تم تحضير الارضية من مادة النوفلاك (٨٥% من مادة الفينول فورمالديهايد و ١٥% من مادة الهيكسامثيلين تترا امين كمصلد و بوجود عامل مساعد حامضي),ثم غربلة المسحوق الناتج الى الحجم الحبيبي المطلوب. استعمل ضغط كبس ١٥ ميكا باسكال و زمن تشكيل ٣٠ دقيقة و بدرجات حرارة تشكيل مختلف هي ٧٥ و ١٠٠ و ١٢٥ و ١٥٠ و ٢٠٠ درجة مئوية لدراسة تاثيرها على خواص الارضية و المادة المركبة. اظهرت النتائج ان اضافة الدقائق الى الارضية تحسن و بشكل كبير الخواص الميكانيكية , حيث تم اختبار الانحناء و الصلادة حيث لوحظ زيادتهما و بشكل طردي مع زيادة الحجم الحبيبي للدقائق المضافة, حيث عملت الاخيرة كنويات تزيد من عملية التشابك للارضية . تبين من خلال الاختبارات ان انسب درجة حرارة تشكيل هي ١٥٠ درجة مئوية حيث اعطت افضل الخواص.

**Abstract**

**This research deals with the study of the effect of adding pure aluminum powder of different sizes (106µm, 250µm,1-2mm)to novolac materials. This has been achieved by hot pressing matrix and reinforcement materials, after preparing the matrix from novolac (85%of phenol formaldhyd and 15%of hexamethylin tetra amin as hardener with the assistance of an acid).After sieving the matrix to the required particles size , a compression pressure (15Mpa) has been applied for 30 minutes as forming time, and under different forming temperature degrees ranging from75,100,125,150,200c$^{o}$. So their influence on the matrix characteristics and the compound material is studied.The results have shown that the addition of particles to the matrix improves to a great extent the mechanical properties, since testing deflection and hardness have shown an increase in direct proportion to increase in the grain size of the additive particles, which work as nucleas to increase the cross linking of the matrix.The tests show the best forming temperature is 150c$^{o}$ which gives best properties.**

* قسم التعليم التكنولوجي/ الجامعة التكنولوجية/ بغداد - العراق.



http s://doi.org/10.30684/etj.25.5.4
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

**المقدمة:**

ان التطور الصناعي و التكنولوجي يعتمد بشكل كبير على التقدم في حقل المواد و نتيجة لهذا التطور الصناعي الكبير الذي شهده العالم في كافة المجالات ظهرت الحاجة لايجاد البدائل للمواد ذات الاستخدمات الصناعية المتعدد بحيث تكون تلك البدائل ذات مواصفات ونوعية عالية من حيث الكلفة وخفة الوزن والخواص بصورة عامة وذلك لاستخدامها في التطبيقات الصناعية المتعددة كالطائرات والرادارات والسفن والسيارات وغيرها ولذلك تم انتاج ما يعرف بالمواد المتراكبة[١،٢]. ويمكن تعريف هذه المواد (او بأنها المواد الناتجة عن دمج مادتين او اكثر مختلفتين لاعطاء موزع من الخواص لا يمكن الحصول عليها من المواد الأصلية[٣].

وتعد المواد البوليمرية من اهم من مجاميع المواد الهندسية التي يزداد استعمالها مقارنة مع المواد الهندسية الاخرى ويمكن اعتبارها مجموعة من المواد الهندسية التي تمتاز بتراكيب جزيئية كبيرة و ناتجة من عملية البناء بالربط للجزيئات الصغيرة. وتقسم الى نوعين تبعا للتطبيق المطلوب اما مواد طبيعية او مواد مصنعة بطرائق التصنيع المختلفة. و تمتاز المواد البوليمرية المصنعة بكثافة واطئة وسهولة في التصنيع ومقاومة عالية للتأكل الكيمياوي وكلفة واطئة ولكنها تمتاز بخواص ميكانيكية واطئة عند درجات الحرارة الواطئة و ايضا عند الدرجات الحرارة العالية [٤].

وتعد المواد المتراكبة ذات الاساس البوليمري من المواد الحديثة الاستخدام في معظم التطبيقات الهندسية والتكنولوجية، ومن اهم متطلبات استخدام هذه المواد المتانة الجيدة والاداء العالي ومقاومتها للاجهادات الداخلية والخارجية المؤثرة عليها اضافة الى مقاومتها للظروف المحيطة من درجة حرارة وضغط وغيرها [٥]. ان من اهم المواصفات المطلوبة لهذه المواد هي ان تكون قوية جداً وذات جساءة عالية وتكون هذه النسبة للمواد المركبة ذات الاساس البوليمري واطئة وتعبر عنها بنسبة (المتانة الى الوزن) وهي اعلى بعشرات المرات من الفولاذ والالمنيوم، اضافة الى امتلاك هذه المواد مقاومة كلال افضل من المعادن الهندسية التقليدية وكذلك جساءة و متانة عاليتين[٥].

ولذلك فمع المواد المتراكبة يمكن ايجاد مجموعة من الخواص تحتاج اليها التطبيقات الهندسية والتي لا يمكن توفرها بصورة عالية من المواد السيراميكية او السبائكية اوالبوليمرية [٦].

وبالرغم من ميزات المواد المتراكبة الاانها تمتلك ايضاً بعض السلبيات مثل اختلاف الخواص للمادة المتراكبة الواحدة بسبب الاعتماد على اتجاه المقوية، وكذلك فان العديد من المتراكبة ذات الاساس من البوليمر تكون عرضة للهجوم للحوامض والاملاح... الخ وكذلك كلفة طرق التصنيع العالية التي تحد من استخدام هذه المواد[٦].

تعد بوليمرات الفينول فورمالديهايد من أهم البوليمرات المتصلبة حرارياً والتي تحضر من الفينول [Phenol] [$C_6H_5OH$] والذي ينصهر عند درجة حرارة (42.3C°) ويغلى عند درجة حرارة (182C°) ونتيجة للأكسدة بفعل الأوكسجين الجوي فان الفينول يكون اولاً بلون وردي ثم لون بني وهذه المادة مهمة جداً في الاستخدام الهندسي حيث

تستخدم كوسيط في تحضير اللدائن والاصباغ وغيرها. اما الفورمالديهايد ( $H-C_{l_H}{}^{llO}$ ) ومن خلط المادتين بنسب معينة وباستعمال حرارة وضغط لاتمام عملية البلمرة (بلمرة التكثيف)يمكن إنتاج مادة الفينول فورمالديهايد (النوفلاك) [٧].تعتبر هذه المادة مكون فعال من مكونات القولبة وتستخدم في التشكيل ربط الصفائح والخشب الرقائقي والتطبيقات الاخرى التي تتطلب جساءة واستقرارية ومقاومة للحرارة والمحاليل الفعالة. وعلى الرغم من ان خواص الايبوكسي كمادة رابطة افضل من الفينوليك والتي تجعل من الايبوكسي اكثر استخداماً لتطبيقات الربط ولكن الخواص الخاصة الحرجة للفينوليك التي اهمها مقاومته العالية للتفحم جعلت منه عند تقويته من اهم المواد الهندسية المقاومة للاجهاد والمقاومة للاحتراق. ان الخواص الكيمياوية للتركيب المتفحم تعطي للفينول خصائص مناسبة لعدة تطبيقات مثل صناعة منفث الصواريخ [٨].

وقد اهتم العديد من الباحثيين واجريت عدد من البحوث في انتاج المواد المتراكبة ذات الاساس في النوفلاك ، فقد درس منهم اسلوب تقوية النوفلاك بالياف الزجاج وتأثيره على الخواص الميكانيكية [٩]، ودرسالاخر اسلوب تقويته بالدقائق وما له من ميزات ورفع للخواص الميكانيكية والفيزياوية [١٠]. ويهتم البحث الحالي بامكانية تقوية هذا النوع من المواد بدقائق معدنية وتأثير اختلاف الحجم الحبيبي لهذه الدقائق على الخواص مع دراسة تأثير درجة حرارة التشكيل.

**الجزء العملي**:

يتضمن هذا الجزء المحاور العملية للبحث ويشتمل على جزئين رئيسين يمثل الجزء الاول تعريف المواد الاولية المستخدمة في تحضير المادة المتراكبة واهم خواصها وميزاتها. ويتعلق الجزء الثاني بتوضيح لمراحل تصنيع النماذج والاختبارات التي اجريت عليها.

فقدتم استخدام بوليمر الفينول فورمالديهايد كمثال على المواد البوليمرية المصلدة بالحرارة. وبالمقارنة مع انواع المواد المصلدة بالحرارة الاخرى فان بوليمر الفينول يكون قليل الكلفة. تتضمن طريقة الانتاج تفاعل تكثيف بين خليط من الفينول والالديهايد مثل فورمالديهايد بوجود عامل مساعد. ولان الفورمالديهايد ثنائي الدالة (يكون الربط بشكل ربط ثنائي التفاعل) والفينول ثلاثي الدالة (ويكون الربط بشكل ربط ثلاثي التفاعل) يكون اعمال التفاعل بالنسبة ٣:٢ لاكمال الربط التقاطعي,لذلك فان الوحدة الاساسية للبناء (Monomers) لهذا البوليمر ($C_6H_5OH$)، وبأعتماد نوع العامل المساعد المستخدم في عملية التكثيف للفينول مع الفورمالديهايد فيكون النوفلاك (عامل مساعد حامضي) او رسيول (عامل مساعد قاعدي) وكذلك اعتماداً على كمية كل من الفينول والفورمالديهايد ففي انتاج النوفلاك تستخدم نسبة فورمالديهايد الى فينول اقل من ٠,٩ والنسبة الاكبر تعطي الرسيول دائماً. ومن امثلة العوامل المساعدة الحامضية المستخدمة هو هيكلسا مثيلين تترامين او يدعى تجارياً هيكسا (hexa). اما من امثلة القواعد المستخدمة لانتاج الريسول هو هيدروكسيد الصويوم وهيدروكسيد الباريوم وهيدروكسيد الكالسيوم والخاصية المهمة التي

يتميز بها النوفلاك عن الرسيول كون الاول عبارة عن مادة يشكل مسحوق صلب اما الثاني فهو عبارة عن سائل .

و كارضية استخدمت مادة النوفلاك بعد تحضيرها وبنسب ٨٥% من مادة الفينول فورمالديهايد و ١٥% من مادة الهيكسامثلين كمصلد ,بعدها يتم خلط المسحوقين (البوليمر و المصلد ) بشكل جيد الى ان يتم التاكد من تجانس المزج , يوضع الخليط في فرن بدرجة حرارة ١٥٠م ليتم عملية تفاعل التكثيف اللازمة لانتاج ربط تقاطعي قليل و الخروج النواتج الثانوية في عملية البلمرة , يكون الناتج بشكل كتل صلبة تؤخذ لطحنها الى مسحوق ناعم وغربلة الاخير باستخدم جهاز المناخل الهزازة للحصول على حجم حبيبي يقدر باقل من (٧٥ مايكرون) وتكرر هذه العملية للحصول على الكمية المطلوبة لانتاج النماذج.

و لغرض التقويةاستخدم مسحوق الالمنيوم النقي بتفاوة ٩٩,٩% وتم تحليل الحجم الحبيبي له باستخدام جهاز المناخل الهزازة وتم فصل ثلاثة حجوم حبيبية هي ( $1-2mm, 250mm, 106\ mm$ ) لغرض استخدامها في عملية التقوية.

تم اضافة بعض الموادلغرض تحسين نوعية الانتاج و التغلب على مشكلة الالتصاقية التي تصاحب عملية تصنيع النوفلاك , حيث ان من المعروف عن هذه المادة صعوبة اخراجها من القالب نتيجة تغلغل المادة من الجوانب و الحافات و ان عملها اصلا هو مادة لاصقة , و لتسهيل انزلاق النموذج و خروجه من القالب فقد تم اضافة ٣% من مادة سترات الرصاص.

بعد هذه المرحلة قد تم تهيئة كل المواد اللازمة لتصنيع المادة المتراكبة , اما المرحلة المهمة جدا و هي مرحلة الخلط حيث يتم خلط المادة الاساس الناتجة مع الاحجام الحبيبية المختلفة لمسحوق الالمنيوم المستخدم وبنسبة خلط بلغت ٢٥% من المادة المقوية مع نسبة قليلة من الاضافات كما تم توضيحة سابقاً.

تم أجراء هذه العملية بتقنية تكنولوجيا المساحيق والتي تضمنت اجراء عملية المزج الجاف للمساحيق الى ان تم الحصول على مزيج مناسب لتصبح المساحيق جاهزة للمراحل الاخرى ويبين الجدول (١) أدناه هذه الخلطات.

| المادة | الرمز | رقم العينة |
|---|---|---|
| نوفلاك | NO. | 1 |
| نوفلاك +٢٥% Al (١٠٦µm) | A | 2 |
| نوفلاك +٢٥% Al (٢٥٠µm) | B | 3 |
| نوفلاك +٢٥% Al (٢-١mm) | C | 4 |

وقد تم تصنيع المواد المتراكبة بأستخدام مكبس على الحارنصف هايدروليكية فقد تم في البداية ولتحديد متغييرات عملية التصنيع انتاج نماذج اولية، ومن خلال قراءات الصلادة تبين انه انسب ضغط هو 15Mpa كافيا لانتاج مادة بدون عيوب. وتم اعتمادها لانتاج النماذج النهائية ومن خلال استخدام جهاز كبس هايدروليكي كهربائي على الحار وقالب ذي شكل متوازي مستطيلات بابعاد 130*20mm , حيث يتم في البداية تحديد وزن الكمية المناسبة لكل نموذج و يملئ بها القالب ثم يتم كبس المادة الى الضغط المطلوب بعد ان تم رفع درجة حرارة القالب و المادة الى الدرجة الحرارية المطلوبة

واخيرا و بعد مرور الزمن اللازم لاتمام عملية التشابك و التصليد و المقدر بحوالي ٣٠ دقيقة يتم اخراج النموذج من القالب.

**مناقشة النتائج:**

يتناول هذا الجزء اهم النتائج التي تم الحصول عليها في الاختبارات التي تم اجراءها على النماذج للمادة المتراكبة. وبعد ان درست عدة ضغوط كبس بتثبيت باقي المتغيرات (درجة حرارة زمن) اتضح ان افضل ضغط كبس هو 15MPa حيث عند هذا الضغط لم تلاحظ اي شقوق على سطح العينة,فمن الملاحظ عند تشكيل هذه المادة بضغط اقل من اللازم يتم الحصول على المادة المشكلة بشكل عدة طبقات منفصلة كذلك عدم حصول حالة الانفصال على شكل طبقات التي تكون واضحة عند استخدام ضغوط كبس عالية. و استعمل زمن تشكيلي مناسب هو ٣٠ دقيقة.

ان اليات زيادة المتانة في المواد المتراكبة المقواة بالدقائق على الاغلب هي في زيادة مساحة سطح الكسر الناتجة من المسار غير المنتظم للشق نتيجة اعاقة الدقائق وبالتالي الحاجة الى طاقة اعلى لنمو الشق، او من خلال التشوة اللدن للارضية حول الدقائق الناتج من كون الدقائق اصلد من المادة الاساس، ينتج عن ذلك خضوع موضعي في منطقة الدقائق واعاقة لنمو الشق وتثليم المقدمة لان صلادة المادة الاساس اقل من الدقائق.وان الالية الاكثر وضوحاً و تفسيرا لاسلوب تقوية المواد المتراكبة بواسطة هذا النوع هو في تثبيت مقدمة راس الشق عن طريق الطور المقوي [٩] وفي هذا البحث عملت الدقائق المقوية كنويات تزيد من عملية التشابك للمادة الاساس [9 ].

ويلاحظ في الشكل (١) ان مقاومة الكسر للمادة المتراكبة اعلى من النوفلاك لوحدة ولسسبب الذي ذكر اعلاه. ايضاً فان، مقاومة الكسر تزداد دائماً مع زيادة الحجم للدقائق. ولتفسير ذلك فأن العينة في هذا الاختبار تتعرض الى معدل اجهاد بطيء يسمح بتفاعل الشقوق مع الدقائق وتكون القوى المؤثرة فيه هي شد وضغط دائماً اسلوب حدوث الفشل في اختبار الانحناء هو في حدوث شقوق بالمادة الاساس ومع زيادة التعرض للاجهاد تنمو هذه الشقوق ويحصل الفشل اعتماداً على قوة الارضية وعلى قوةالترابط البيني بالحد الفاصل ما بين الارضية والمادة المقوية (دقائق الالمنيوم) فكلما زادات قوة الربط زادت المقاومة وبالتالي فأن زيادة الحجم الحبيبي تعطي مساحة اكبر للوسط اي قوة سطح بيني اكبر والناتج زيادة بمقاومة الكسر وكما موضح بالشكل (١) [11].

ومن ملاحظة الشكل (٢) نلاحظ ان قيم الصلادة تزداد ايضاً مع تقوية التوثلاك بدقائق الألمنيوم. آخذت قيم الصلادة باستخدام جهاز (Shore-A) حيث تبين انه الطريق الأفضل للتعامل مع مثل هذه المواد لكون هذه المادة سهلة التصدع ويبين الشكل (٢) ان قيم الصلادة قد تحسنت بعد تقوية التوفلاك ودقائق الألمنيوم وابدت النماذج التي احتوت على حجم حبيبي كبير اعلى قيم للصلادة وذلك بسبب قوة التماسك عند الحد الفاصل بين الأرضية والمادة المقوية مما يزيد بالخواص الميكانيكية. [١١]. ثم تم استخدام فحص الصدمة نوع ( Charpy Impact) لدراسة سلوك المادة الاساس و المركبة تحت تاثير

الاجهادات السريعة و المفاجئة و نتائج الفحص موضحة بالشكل (٣) . حيث حصلت زيادة في مقاومة الصدمة لراتنج النوفلاك بعد تقويته , و ان الفشل في هذا النوع من الاجهادات يحصل نتيجة تحطيم الروابط و بدء تكون الشقوق ثم نموها و التي يكون تولدها و نموها بشكل سريع و بمعدل كبير باتجاه السطوح البينية الفاصلة بين السلاسل البوليميرية . ان زيادة مقاومة الصدمة للمادة المركبة المقواة بالدقائق يعني ان الطاقة اللا زمة لكسر البوليمر تزداد و ذلك نتيجة تخزين طاقة الانفعال المرن اذ تعمل الدقائق المقوية على توزيع الاجهاد و على مناطق متعددة و تقلل من احتمالية تركيز الاجهاد. كذلك تبين ان انسب درجة حرارة هي 150C° كافية لإتمام عملية التفاعل فينول مع الفورمالدئهايد والحصول على الربط التقاطعي و زيادة الربط التشابكي للارضية،و قد ادى استعمال الدرجات الحرارية الاقل الى عدم اكتمال التفاعل و بالتالي ارضية ضعفية و الناتج هو ضعف بالخواص , اما استعمال درجات حرارية اعلى من 150C° فقد ادى الى حصول تحلل حراري بدأ من منطقة التماس بين القالب والنموذج وقد اكدت النتائج من خلال فحوصات الصلادة و الانحناء.

**الاستنتاجات**:

١. تعمل الدقائق المضافة كنويات تزيد من عملية التشابك و بالتالي زيادة الخواص الميكانيكية للارضية.
٢. عند تقوية مادة النوفلاك بمسحوق الالمنيوم فان مقاومة الكسر تزداد مع زيادة الحجم الحبيبي.
٣. تزداد الصلادة للمادة المركبة مع زيادة الحجم الحبيبي للدقائق.
٤. تزداد مقاومة الصدمة للمادة المركبة مع زيادة الحجم الحبيبي للدقائق و مع ارتفاع درجة حرارة التشكيل.
٥. ان افضل درجة حرارة تشكيل هي ١٥٠ درجة مئوية حيث اعطت افضل النتائج.

**Reference**

1-Department of Defense Handbook,U.S.A.Composite Material Handbook, "Vol.2, Polymer Matrix, 2000.

2- Jaffer.H.I. "Investigation of Inter Laminar Toughness of Reinforced Polymer Blends, "Ph.D.Thesis Department of Physics Science, University, of Baghdad, 2000.

3-P.A.Thornton and V.J.Colangelo,"Fundemantal of Enigneering Materials", Prentic-Hall, Inc., (1985).

4- Advances in material technology Monitor, / (1994)6.

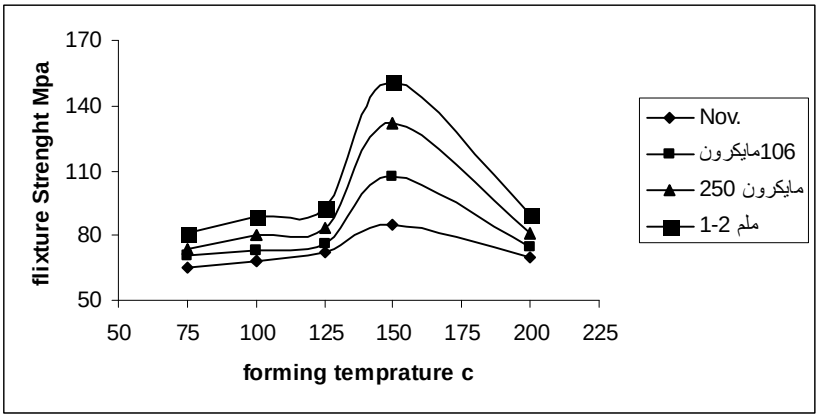
5- Mare Nature Meyers & Krishan kumar chawla, "Mechanical Behavior of Material", Prentice-Hall, Inc.1999.

6- Mikell, P. Groover, "Fundamentals of Modern Manufactory Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1996.

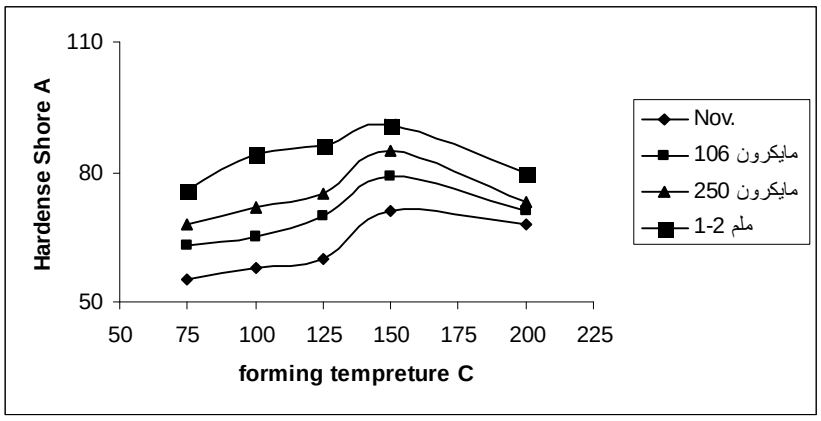
7- Bckool,G. "Design and Manufacture of Composite Structure, Jaico Publishing House, 1995.

8- X. M, Wang & etal, "Phenol-Formaldehyde Resin Csring & Ton Ding Under Dynamic Condition, Wood Science & Technology, 30, 1996, P.442-443.

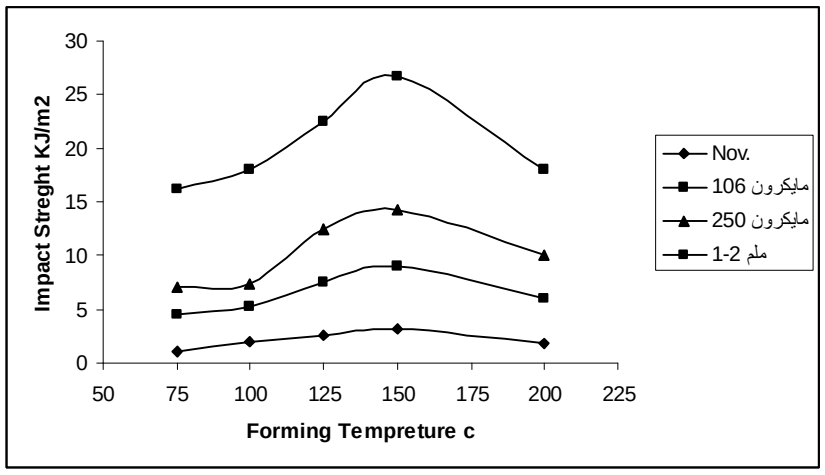
9- Lee, A. Dowold L. Mykanan," Metal & Polymer Matrix Composite, Noyoz Diatu Corporation, 1987.
10-Lorenz, F. & et.al." Interaction of Phonetics Resin Alkalinity, Moisture Content & Cure,"Behavior Engineering Chemical Resing. 1995, 43, P. 4520-4523.
11- Shin, G.C. and Ebert, L.J., "Composite ", Vol.17, No.4, October (1986), P.309-320.



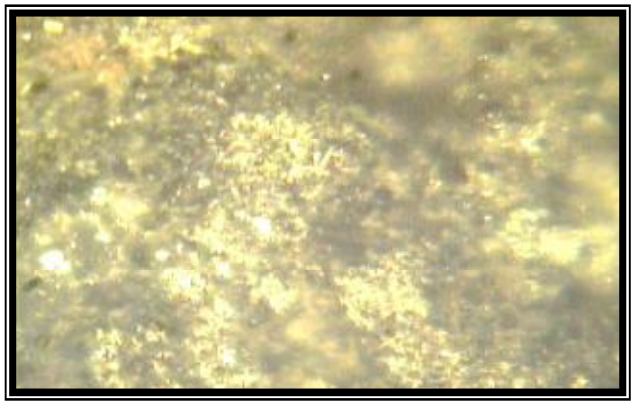

الشكل (١) يمثل العلاقة بين درجة حرارة التشكيل و مقاومة الكسر للمادة الاساس و المادة المركبة.



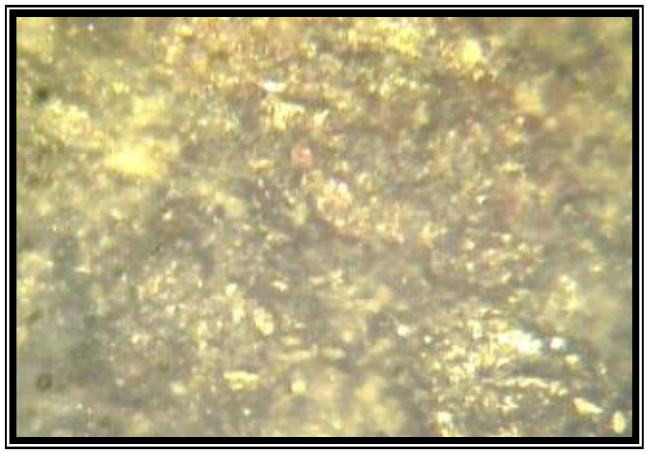

الشكل (٢) يمثل العلاقة بين درجة حرارة التشكيل و الصلادة للمادة الاساس و المادة المركبة.



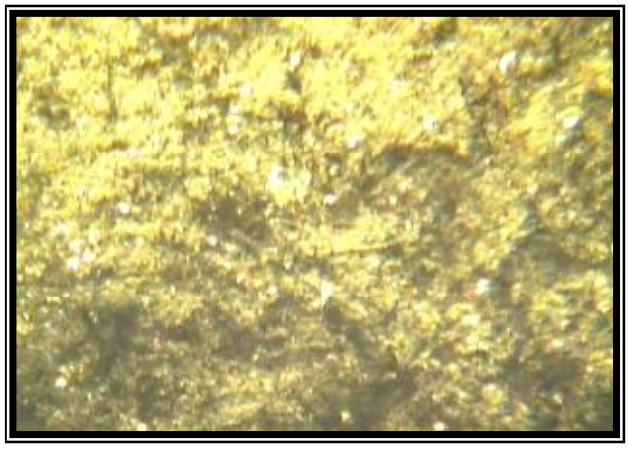

الشكل (٣) يمثل العلاقة بين درجة حرارة التشكيل و مقاومة الصدمة للمادة الاساس و المادة المركبة.



شكل (٣) صورة مجهرية للمادة للارضية و الدقائق المضافة بحجم ١٠٦ مايكرون



شكل (٤) صورة مجهرية للمادة للارضية و الدقائق المضافة بحجم ٢٥٠ مايكرون



شكل (٥) صورة مجهرية للمادة للارضية و الدقائق المضافة بحجم ١-٢ ملم